

(1) Japanese Patent Application Laid-Open No. 2002-43566 (2002)

“Semiconductor Device and Method of Manufacturing the Same”

The following is the extract relevant to the present invention:

5

A gate insulating film 12 is formed on a silicon substrate 11, and then an SiGe layer 13 is formed on the gate insulating film 12. Thereafter, an Si layer 14 is formed on the SiGe layer 13 while keeping the Si layer 14 in an amorphous state. Ions of Boron are implanted into the SiGe layer 13 via the Si layer 14 kept in an 10 amorphous state, and then the SiGe layer 13 and the Si layer 14 are patterned to form a gate electrode 15.

(19)日本国特許庁 (JP)

(12)公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2002-43566

(P 2 0 0 2 - 4 3 5 6 6 A)

(43)公開日 平成14年2月8日(2002.2.8)

(51)Int.C1.  
H01L 29/78  
21/28  
21/8238  
27/092  
29/43

識別記号  
301

F I  
H01L 21/28  
29/78  
27/08  
29/62

マークコード (参考)  
A 4M104  
G 5F040  
D 5F048  
G

審査請求 未請求 請求項の数24 O L (全18頁)

(21)出願番号 特願2000-226559(P 2000-226559)

(22)出願日 平成12年7月27日(2000.7.27)

(71)出願人 000005821  
松下電器産業株式会社

大阪府門真市大字門真1006番地

(72)発明者 久保 裕子  
大阪府高槻市幸町1番1号 松下電子工業  
株式会社内

(72)発明者 米田 健司  
大阪府高槻市幸町1番1号 松下電子工業  
株式会社内

(74)代理人 100077931  
弁理士 前田 弘 (外7名)

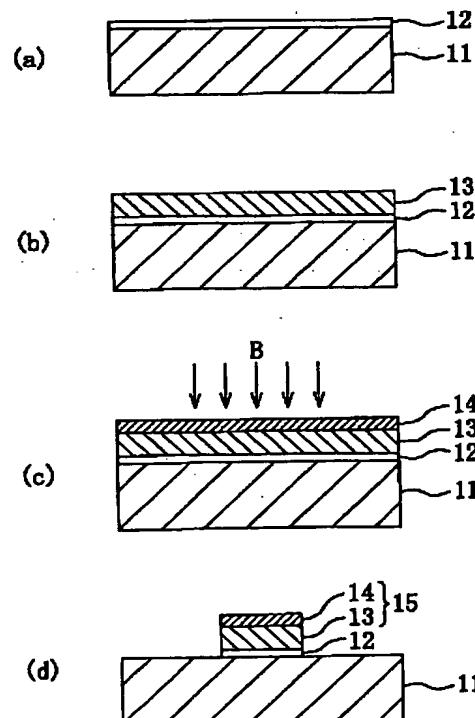
最終頁に続く

(54)【発明の名称】半導体装置及びその製造方法

(57)【要約】

【課題】 ゲート電極にドープされた不純物が半導体基板にしみ出す事態を防止できるようにする。

【解決手段】 シリコン基板11上にゲート絶縁膜12を形成した後、ゲート絶縁膜12上にSiGe層13を成膜し、その後、SiGe層13上にSi層14をアモルファス状態で成膜する。アモルファス状態のSi層14を介してSiGe層13にボロンをイオン注入した後、SiGe層13及びSi層14をバターン化してゲート電極15を形成する。



BEST AVAILABLE COPY

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 半導体基板上にゲート絶縁膜を介して形成されたゲート電極を備え、

前記ゲート電極は、シリコングルマニウム層と、該シリコングルマニウム層の上に形成された上部シリコン層とを有することを特徴とする半導体装置。

【請求項2】 前記ゲート電極は、前記シリコングルマニウム層の下に形成された下部シリコン層をさらに有していることを特徴とする請求項1に記載の半導体装置。

【請求項3】 前記ゲート電極は、前記上部シリコン層の上に形成された金属層をさらに有しており、前記ゲート電極の上にシリコン窒化膜が形成されていることを特徴とする請求項1に記載の半導体装置。

【請求項4】 前記ゲート電極と前記シリコン窒化膜との間に絶縁層が形成されていることを特徴とする請求項3に記載の半導体装置。

【請求項5】 半導体基板上にゲート絶縁膜を介して形成されたゲート電極を備え、

前記ゲート電極は、アモルファス状態で成膜されたシリコングルマニウム層を有することを特徴とする半導体装置。

【請求項6】 前記ゲート電極は、前記シリコングルマニウム層の上に形成された金属層をさらに有しており、前記ゲート電極の上にシリコン窒化膜が形成されていることを特徴とする請求項5に記載の半導体装置。

【請求項7】 前記ゲート電極と前記シリコン窒化膜との間に絶縁層が形成されていることを特徴とする請求項6に記載の半導体装置。

【請求項8】 前記シリコングルマニウム層の下面近傍部分におけるゲルマニウムの濃度は、前記シリコングルマニウム層の下面近傍部分以外の他の部分におけるゲルマニウムの濃度と比べて低いことを特徴とする請求項1又は5に記載の半導体装置。

【請求項9】 前記シリコングルマニウム層はボロン又はリンを含むことを特徴とする請求項1又は5に記載の半導体装置。

【請求項10】 前記ゲート電極の上に絶縁層を介してシリコン窒化膜が形成されていることを特徴とする請求項1又は5に記載の半導体装置。

【請求項11】 前記ゲート電極は、デュアルゲートを有するMOSトランジスタの少なくとも1つのゲート電極を構成することを特徴とする請求項1又は5に記載の半導体装置。

【請求項12】 半導体基板上にゲート絶縁膜を介してシリコングルマニウム層を成膜する工程と、前記シリコングルマニウム層の上にアモルファス状態で上部シリコン層を成膜する工程と、前記シリコングルマニウム層及び上部シリコン層をパターン化してゲート電極を形成する工程とを備えていることを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項13】 前記シリコングルマニウム層を成膜する工程の前に、前記ゲート絶縁膜の上に下部シリコン層を成膜する工程をさらに備えており、

前記ゲート電極を形成する工程は、前記下部シリコン層をパターン化する工程を含むことを特徴とする請求項12に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項14】 前記上部シリコン層を成膜する工程と前記ゲート電極を形成する工程との間に、前記上部シリコン層の上に金属層及びシリコン窒化膜を順次形成する工程をさらに備えており、

前記ゲート電極を形成する工程は、前記シリコン窒化膜をパターン化した後、パターン化された前記シリコン窒化膜をマスクとして前記金属層をパターン化する工程を含むことを特徴とする請求項12に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項15】 前記金属層及びシリコン窒化膜を順次形成する工程は、前記金属層と前記シリコン窒化膜との間に絶縁層を形成する工程を含むことを特徴とする請求項14に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項16】 半導体基板上にゲート絶縁膜を介してアモルファス状態でシリコングルマニウム層を成膜する工程と、

前記シリコングルマニウム層をパターン化してゲート電極を形成する工程とを備えていることを特徴とする半導体装置の製造方法。

【請求項17】 前記シリコングルマニウム層を成膜する工程と前記ゲート電極を形成する工程との間に、前記シリコングルマニウム層の上に金属層及びシリコン窒化膜を順次形成する工程をさらに備えており、

前記ゲート電極を形成する工程は、前記シリコン窒化膜をパターン化した後、パターン化された前記シリコン窒化膜をマスクとして前記金属層をパターン化する工程を含むことを特徴とする請求項16に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項18】 前記金属層及びシリコン窒化膜を順次形成する工程は、前記金属層と前記シリコン窒化膜との間に絶縁層を形成する工程を含むことを特徴とする請求項17に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項19】 前記シリコングルマニウム層を成膜する工程は、シリコンを含む第1のソースガス及びゲルマニウムを含む第2のソースガスを用いると共に、前記第1のソースガスと前記第2のソースガスとの混合比率を経時変化させることによって、前記シリコングルマニウム層の下面近傍部分におけるゲルマニウムの濃度を、前記シリコングルマニウム層の下面近傍部分以外の他の部分におけるゲルマニウムの濃度と比べて低くする工程を含むことを特徴とする請求項12又は16に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項20】 前記シリコングルマニウム層はボロン又はリンを含むことを特徴とする請求項12又は16に

記載の半導体装置の製造方法。

【請求項21】前記シリコングルマニウム層にボロン又はリンをイオン注入する工程をさらに備えていることを特徴とする請求項12又は16に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項22】前記シリコングルマニウム層を成膜する工程は、シリコンを含むガス、グルマニウムを含むガス、及びボロン又はリンを含むガスを用いて、ボロン又はリンを含む前記シリコングルマニウム層を成膜する工程を含むことを特徴とする請求項12又は16に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項23】前記ゲート電極の上に絶縁層を介してシリコングルマニウム層を形成する工程をさらに備えていることを特徴とする請求項12又は16に記載の半導体装置の製造方法。

【請求項24】前記ゲート電極は、デュアルゲートを有するMOSトランジスタの少なくとも1つのゲート電極を構成することを特徴とする請求項12又は16に記載の半導体装置の製造方法。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、ゲート電極を備えた半導体装置及びその製造方法に関する。

##### 【0002】

【従来の技術】近年、半導体素子の微細化又は高集積化の急速な進展に伴って、デュアルゲートCMOSFETが広く利用されるようになってきた。

【0003】以下、従来の半導体装置について、デュアルゲートCMOSFETのうちのpチャネルMOSFETを例として、図11を参照しながら説明する。

【0004】図11に示すように、シリコンからなる半導体基板1上にゲート絶縁膜2を介して多結晶シリコンからなるゲート電極3が形成されている。ゲート電極3には、通常、不純物として例えばボロン(B)がイオン注入によりドープされている。このとき、ゲート電極3におけるボロンの濃度分布がゲート電極3の上面近傍部分にピークを持つと共にボロンがゲート絶縁膜2を通して半導体基板1に突き抜けることのないように、ゲート電極3となる多結晶シリコンに対するボロンのイオン注入は十分に低いエネルギーで行なわれる。

【0005】ところで、ゲート電極3となる多結晶シリコンにボロンを注入した後、該多結晶シリコンに対して熱処理を行なわれると、該多結晶シリコン中のボロンは半導体基板1に向かって拡散する。前記の熱処理の条件が不適切な場合、多結晶シリコン中のボロンはゲート絶縁膜2を通り抜けて半導体基板1にしみ出し、その結果、半導体基板1における不純物濃度が変化して素子特性が劣化してしまう。また、ポリメタルゲート電極を形成するための金属層を多結晶シリコン上に形成した後にハードマスクとなるシリコングルマニウム層を堆積して熱処理を

行なう場合、又は、サイドウォールとなるシリコングルマニウム層をゲート電極3上に堆積して熱処理を行なう場合等には、半導体基板1へのボロンの著しいしみ出しが検出される。

【0006】そこで、半導体基板1へのボロンのしみ出しを抑制するために、ゲート絶縁膜2として、ボロンのしみ出し阻止能力を有するシリコングルマニウム層を採用する等の工夫がなされている。

##### 【0007】

10 【発明が解決しようとする課題】しかしながら、ゲート絶縁膜2としてシリコングルマニウム層を用いた場合にも、ボロンのしみ出しを十分に抑制することはできず、特に、デバイスの高性能化に伴ってシリコングルマニウム層が極薄化(例えば3nm以下)した場合には、ボロンのしみ出し抑制効果はほとんど期待できなくなるという問題点があった。

【0008】前記に鑑み、本発明は、ゲート電極にドープされた不純物が半導体基板にしみ出す事態を防止できるようにすることを目的とする。

##### 【0009】

【課題を解決するための手段】前記の目的を達成するため、本発明に係る第1の半導体装置は、半導体基板上にゲート絶縁膜を介して形成されたゲート電極を備え、ゲート電極は、シリコングルマニウム層と、該シリコングルマニウム層の上に形成された上部シリコン層とを有する。

【0010】第1の半導体装置によると、ゲート電極がシリコングルマニウム層と該シリコングルマニウム層上に形成された上部シリコン層とを有するため、ゲート電

30 極にボロン等の不純物をドープする場合、上部シリコン層を介してシリコングルマニウム層に不純物をイオン注入することができる。このため、不純物の注入深さを十分に浅くすることができると共にチャーニングによる不純物の半導体基板に対する突き抜けを防止することができるので、ゲート電極にドープされた不純物が熱処理等により半導体基板にしみ出す事態を防止することができる。従って、半導体基板中の不純物濃度の変化に起因する素子特性の変動を抑制することができる。

【0011】また、第1の半導体装置によると、ゲート電極を構成するシリコングルマニウム層中のゲルマニウム濃度を調整してバンドギャップを変化させることにより、ゲート電極のしきい値電圧調整能力を向上させることができ。この場合、ゲート電極に不純物をドープする必要がなくなるので、ゲート電極から半導体基板への不純物のしみ出しに起因して素子特性が変動する事態を確実に回避することができる。

【0012】また、第1の半導体装置によると、シリコングルマニウム層が上部シリコン層により覆われているため、シリコングルマニウム層から飛び出したゲルマニウム原子によるクロスコンタミネーション(半導体基板又

はプロセス装置の汚染)を防止できるので、シリコン層からなるゲート電極を製造するためのプロセスを利用することができます。

【0013】第1の半導体装置において、ゲート電極は、シリコングルマニウム層の下に形成された下部シリコン層をさらに有していることが好ましい。

【0014】このようにすると、ゲート電極におけるシリコングルマニウム層の下側に、シリコングルマニウム層よりも表面モフォロジーが良好な下部シリコン層が形成されているため、シリコングルマニウム層とゲート絶縁膜とが直接接する場合と比べて、ゲート絶縁膜の耐圧を向上させることができる。

【0015】第1の半導体装置において、ゲート電極は、上部シリコン層の上に形成された金属層をさらに有しており、ゲート電極の上にシリコン窒化膜が形成されていることが好ましい。

【0016】このようにすると、ゲート電極をポリメタルゲート電極として形成することができると共に、ゲート電極上にシリコン窒化膜が形成されていても、ゲート電極から半導体基板への不純物のしみ出しを防止することができる。

【0017】また、この場合、ゲート電極とシリコン窒化膜との間に絶縁層が形成されていることが好ましい。

【0018】このようにすると、絶縁層として例えばシリコン酸化膜を用いることにより、ゲート電極から半導体基板への不純物のしみ出しをより確実に防止することができる。

【0019】本発明に係る第2の半導体装置は、半導体基板上にゲート絶縁膜を介して形成されたゲート電極を備え、ゲート電極は、アモルファス状態で成膜されたシリコングルマニウム層を有する。

【0020】第2の半導体装置によると、ゲート電極がアモルファス状態で成膜されたシリコングルマニウム層を有するため、ゲート電極にボロン等の不純物をドープする場合、アモルファス状態のシリコングルマニウム層に不純物をイオン注入することができる。このため、不純物の注入深さを十分に浅くすることができると共にチャネリングによる不純物の半導体基板に対する突き抜けを防止することができるので、ゲート電極にドープされた不純物が熱処理等により半導体基板にしみ出す事態を防止することができる。従って、半導体基板中の不純物濃度の変化に起因する素子特性の変動を抑制することができる。

【0021】また、第2の半導体装置によると、ゲート電極を構成するシリコングルマニウム層中のゲルマニウム濃度を調整してバンドギャップを変化させることにより、ゲート電極のしきい値電圧調整能力を向上させることができ。この場合、ゲート電極に不純物をドープする必要がなくなるので、ゲート電極から半導体基板への不純物のしみ出しに起因して素子特性が変動する事態を

確実に回避することができる。

【0022】また、第2の半導体装置によると、ゲート電極を構成するシリコングルマニウム層は多結晶状態のときよりもアモルファス状態のときの方が表面モフォロジーが良好になるので、シリコングルマニウム層におけるゲート絶縁膜との界面近傍の表面モフォロジーが良好になる結果、ゲート絶縁膜の耐圧が向上する。

【0023】また、第2の半導体装置によると、ゲート電極をシリコングルマニウム層のみにより構成することができるため、積層構造を有するゲート電極を形成する場合と比べて工程を簡単にすことができると共に、ゲート電極の膜厚を例えば100nm以下に薄膜化することができる。

【0024】第2の半導体装置において、ゲート電極は、シリコングルマニウム層の上に形成された金属層をさらに有しており、ゲート電極の上にシリコン窒化膜が形成されていることが好ましい。

【0025】このようにすると、ゲート電極をポリメタルゲート電極として形成することができると共に、ゲート電極上にシリコン窒化膜が形成されていても、ゲート電極から半導体基板への不純物のしみ出しを防止することができる。

【0026】また、この場合、ゲート電極とシリコン窒化膜との間に絶縁層が形成されていることが好ましい。

【0027】このようにすると、絶縁層として例えばシリコン酸化膜を用いることにより、ゲート電極から半導体基板への不純物のしみ出しをより確実に防止することができる。

【0028】第1又は第2の半導体装置において、シリコングルマニウム層の下面近傍部分におけるゲルマニウムの濃度は、シリコングルマニウム層の下面近傍部分以外の他の部分におけるゲルマニウムの濃度と比べて低いことが好ましい。

【0029】このようにすると、ゲート電極のしきい値電圧調整能力の劣化を抑制しつつ、ゲート絶縁膜の耐圧低下若しくは特性変動を防止することができる。

【0030】第1又は第2の半導体装置において、シリコングルマニウム層はボロン又はリンを含むことが好ましい。

【0031】このようにすると、ゲート電極のしきい値電圧調整能力を向上させることができる。また、シリコングルマニウム層がボロンを含む場合には、シリコングルマニウム層におけるボロンの活性化率が、通常のポリシリコン膜等におけるボロンの活性化率と比べて高いため、ボロンが半導体基板にしみ出す事態をより確実に防止することができる。

【0032】第1又は第2の半導体装置において、ゲート電極の上に絶縁層を介してシリコン窒化膜が形成されていることが好ましい。

【0033】このようにすると、ゲート電極上にシリコ

ン塗化膜が形成されていても、ゲート電極から半導体基板への不純物のしみ出しを防止することができる。

【0034】第1又は第2の半導体装置において、ゲート電極は、デュアルゲートを有するMOSトランジスタの少なくとも1つのゲート電極を構成することが好ましい。

【0035】このようにすると、デュアルゲートを有するMOSトランジスタつまりデュアルゲートCMOSFETのp+ゲート電極又はn+ゲート電極にドープされた不純物が半導体基板にしみ出す事態を防止でき、それによって、半導体基板中の不純物濃度の変化に起因するデュアルゲートCMOSFETの特性の変動を抑制することができる。また、p+ゲート電極又はn+ゲート電極を構成するシリコングルマニウム層中のゲルマニウム濃度を調整してバンドギャップを変化させることにより、p+ゲート電極又はn+ゲート電極のしきい値電圧調整能力を向上させることができるので、p+ゲート電極又はn+ゲート電極に不純物をドープする必要がなくなる。すなわち、p+ゲート電極又はn+ゲート電極を構成するシリコングルマニウム層におけるゲルマニウム濃度を調整するだけで、不純物の半導体基板に対する突き抜け又はしみ出しを防止しつつ、デュアルゲートCMOSFETを簡単に形成することができる。

【0036】本発明に係る第1の半導体装置の製造方法は、半導体基板上にゲート絶縁膜を介してシリコングルマニウム層を成膜する工程と、シリコングルマニウム層の上にアモルファス状態で上部シリコン層を成膜する工程と、シリコングルマニウム層及び上部シリコン層をパターン化してゲート電極を形成する工程とを備えている。

【0037】第1の半導体装置の製造方法によると、半導体基板上にゲート絶縁膜を介してシリコングルマニウム層及びアモルファス状態の上部シリコン層を順次成膜した後、シリコングルマニウム層及び上部シリコン層をパターン化してゲート電極を形成するため、ゲート電極にボロン等の不純物をドープする場合、アモルファス状態の上部シリコン層を介してシリコングルマニウム層に不純物をイオン注入することができる。このため、不純物の注入深さを十分に浅くすることができると共にチャネリングによる不純物の半導体基板に対する突き抜けを防止することができるので、ゲート電極にドープされた不純物が熱処理等により半導体基板にしみ出す事態を防止することができる。従って、半導体基板中の不純物濃度の変化に起因する素子特性の変動を抑制することができる。

【0038】また、第1の半導体装置の製造方法によると、ゲート電極を構成するシリコングルマニウム層中のゲルマニウム濃度を調整してバンドギャップを変化させることにより、ゲート電極のしきい値電圧調整能力を向上させることができる。この場合、ゲート電極に不純物

をドープする必要がなくなるので、ゲート電極から半導体基板への不純物のしみ出しに起因して素子特性が変動する事態を確実に回避することができる。

【0039】また、第1の半導体装置の製造方法によると、シリコングルマニウム層を上部シリコン層により覆うため、シリコングルマニウム層から飛び出たゲルマニウム原子によるクロスコンタミネーションを防止できるので、シリコン層からなるゲート電極を製造するためのプロセスを利用することができる。

【0040】第1の半導体装置の製造方法において、シリコングルマニウム層を成膜する工程の前に、ゲート絶縁膜の上に下部シリコン層を成膜する工程をさらに備えており、ゲート電極を形成する工程は、下部シリコン層をパターン化する工程を含むことが好ましい。

【0041】このようにすると、ゲート電極におけるシリコングルマニウム層の下側に、シリコングルマニウム層よりも表面モフォロジーが良好な下部シリコン層が形成されるため、シリコングルマニウム層とゲート絶縁膜とが直接接する場合と比べて、ゲート絶縁膜の耐圧を向上させることができる。

【0042】第1の半導体装置の製造方法において、上部シリコン層を成膜する工程とゲート電極を形成する工程との間に、上部シリコン層の上に金属層及びシリコン塗化膜を順次形成する工程をさらに備えており、ゲート電極を形成する工程は、シリコン塗化膜をパターン化した後、パターン化されたシリコン塗化膜をマスクとして金属層をパターン化する工程を含むことが好ましい。

【0043】このようにすると、ゲート電極をポリメタルゲート電極として形成することができると共に、ゲート電極上にシリコン塗化膜が形成されていても、ゲート電極から半導体基板への不純物のしみ出しを防止することができる。

【0044】また、この場合、金属層及びシリコン塗化膜を順次形成する工程は、金属層とシリコン塗化膜との間に絶縁層を形成する工程を含むことが好ましい。

【0045】このようにすると、絶縁層として例えばシリコン酸化膜を用いることにより、ゲート電極から半導体基板への不純物のしみ出しをより確実に防止することができる。

【0046】本発明に係る第2の半導体装置の製造方法は、半導体基板上にゲート絶縁膜を介してアモルファス状態でシリコングルマニウム層を成膜する工程と、シリコングルマニウム層をパターン化してゲート電極を形成する工程とを備えている。

【0047】第2の半導体装置の製造方法によると、半導体基板上にゲート絶縁膜を介してアモルファス状態のシリコングルマニウム層を成膜した後、シリコングルマニウム層をパターン化してゲート電極を形成するため、ゲート電極にボロン等の不純物をドープする場合、アモルファス状態のシリコングルマニウム層に不純物をイオ

ン注入することができる。このため、不純物の注入深さを十分に浅くすることができると共にチャネリングによる不純物の半導体基板に対する突き抜けを防止することができるので、ゲート電極にドープされた不純物が熱処理等により半導体基板にしみ出す事態を防止することができる。従って、半導体基板中の不純物濃度の変化に起因する素子特性の変動を抑制することができる。

【0048】また、第2の半導体装置の製造方法によると、ゲート電極を構成するシリコングルマニウム層中のゲルマニウム濃度を調整してバンドギャップを変化させることにより、ゲート電極のしきい値電圧調整能力を向上させることができる。この場合、ゲート電極に不純物をドープする必要がなくなるので、ゲート電極から半導体基板への不純物のしみ出しに起因して素子特性が変動する事態を確実に回避することができる。

【0049】また、第2の半導体装置の製造方法によると、ゲート電極を構成するシリコングルマニウム層は多結晶状態のときよりもアモルファス状態のときの方が表面モフォロジーが良好になるので、シリコングルマニウム層におけるゲート絶縁膜との界面近傍の表面モフォロジーが良好になる結果、ゲート絶縁膜の耐圧が向上する。

【0050】また、第2の半導体装置の製造方法によると、ゲート電極をシリコングルマニウム層のみにより構成することができるため、積層構造を有するゲート電極を形成する場合と比べて工程を簡単にすことができると共に、ゲート電極の膜厚を例えば100nm以下に薄膜化することができる。

【0051】第2の半導体装置の製造方法において、シリコングルマニウム層を成膜する工程とゲート電極を形成する工程との間に、シリコングルマニウム層の上に金属層及びシリコン窒化膜を順次形成する工程をさらに備えており、ゲート電極を形成する工程は、シリコン窒化膜をバターン化した後、バターン化されたシリコン窒化膜をマスクとして金属層をバターン化する工程を含むことが好ましい。

【0052】このようにすると、ゲート電極をポリメタルゲート電極として形成することができると共に、ゲート電極上にシリコン窒化膜が形成されていても、ゲート電極から半導体基板への不純物のしみ出しを防止することができる。

【0053】また、この場合、金属層及びシリコン窒化膜を順次形成する工程は、金属層とシリコン窒化膜との間に絶縁層を形成する工程を含むことが好ましい。

【0054】このようにすると、絶縁層として例えばシリコン酸化膜を用いることにより、ゲート電極から半導体基板への不純物のしみ出しをより確実に防止することができる。

【0055】第1又は第2の半導体装置の製造方法において、シリコングルマニウム層を形成する工程は、シリ

コンを含む第1のソースガス及びゲルマニウムを含む第2のソースガスを用いると共に、第1のソースガスと第2のソースガスとの混合比率を経時変化させることによって、シリコングルマニウム層の下面近傍部分におけるゲルマニウムの濃度を、シリコングルマニウム層の下面近傍部分以外の他の部分におけるゲルマニウムの濃度と比べて低くする工程を含むことが好ましい。

【0056】このようにすると、ゲート電極のしきい値電圧調整能力の劣化を抑制しつつ、ゲート絶縁膜の耐圧低下若しくは特性変動を防止することができる。

【0057】第1又は第2の半導体装置の製造方法において、シリコングルマニウム層はボロン又はリンを含むことが好ましい。

【0058】このようにすると、ゲート電極のしきい値電圧調整能力を向上させることができる。また、シリコングルマニウム層がボロンを含む場合には、シリコングルマニウム層におけるボロンの活性化率が、通常のポリシリコン膜等におけるボロンの活性化率と比べて高いため、ボロンが半導体基板にしみ出す事態をより確実に防止することができる。

【0059】第1又は第2の半導体装置の製造方法において、シリコングルマニウム層にボロン又はリンをイオン注入する工程をさらに備えていることが好ましい。

【0060】このようにすると、シリコングルマニウム層にボロン又はリンを確実にドープすることができる。

【0061】第1又は第2の半導体装置の製造方法において、シリコングルマニウム層を成膜する工程は、シリコンを含むガス、ゲルマニウムを含むガス、及びボロン又はリンを含むガスを用いて、ボロン又はリンを含むシリコングルマニウム層を成膜する工程を含むことが好ましい。

【0062】このようにすると、シリコングルマニウム層にボロン又はリンを確実にドープすることができる。また、イオン注入を用いることなくシリコングルマニウム層にボロン又はリンをドープできるので、チャネリングによるボロン又はリンの半導体基板に対する突き抜けが生じない。従って、ボロン又はリンの注入後に行なわれる熱処理等によってボロン又はリンが半導体基板にしみ出す事態をより確実に防止することができる。

【0063】第1又は第2の半導体装置の製造方法において、ゲート電極の上に絶縁層を介してシリコン窒化膜を形成する工程をさらに備えていることが好ましい。

【0064】このようにすると、ゲート電極上にシリコン窒化膜が形成されていても、ゲート電極から半導体基板への不純物のしみ出しを防止することができる。

【0065】第1又は第2の半導体装置の製造方法において、ゲート電極は、デュアルゲートを有するMOSトランジスタの少なくとも1つのゲート電極を構成することが好ましい。

【0066】このようにすると、デュアルゲートを有す

るMOSトランジスタつまりデュアルゲートCMOSFETのp+ゲート電極又はn+ゲート電極にドープされた不純物が半導体基板にしみ出す事態を防止でき、それによって、半導体基板中の不純物濃度の変化に起因するデュアルゲートCMOSFETの特性の変動を抑制することができる。また、p+ゲート電極又はn+ゲート電極を構成するシリコンゲルマニウム層中のゲルマニウム濃度を調整してバンドギャップを変化させることにより、p+ゲート電極又はn+ゲート電極のしきい値電圧調整能力を向上させることができるので、p+ゲート電極又はn+ゲート電極に不純物をドープする必要がなくなる。すなわち、p+ゲート電極又はn+ゲート電極を構成するシリコンゲルマニウム層におけるゲルマニウム濃度を調整するだけで、不純物の半導体基板に対する突き抜け又はしみ出しを防止しつつ、デュアルゲートCMOSFETを簡単に形成することができる。

## 【0067】

【発明の実施の形態】(第1の実施形態)以下、本発明の第1の実施形態に係る半導体装置及びその製造方法について、図面を参照しながら説明する。

【0068】図1(a)～(d)は第1の実施形態に係る半導体装置の製造方法の各工程を示す断面図である。

【0069】まず、図1(a)に示すように、一導電型のシリコン基板11上に例えば膜厚3nm程度のゲート絶縁膜12を形成する。

【0070】次に、シリコンを含むソースガス(以下、Si供給源ガスと称する)とゲルマニウムを含むソースガス(以下、Ge供給源ガスと称する)とを600°C程度以下で用いたLPCVD(low-pressure Chemical Vapor Deposition)法により、図1(b)に示すように、ゲート絶縁膜12上に例えば膜厚100nmのシリコンゲルマニウム層(以下、SiGe層と称する)13を成膜する。

【0071】尚、Si供給源ガスとしてはSiH<sub>4</sub>(モノシラン)又はSi<sub>2</sub>H<sub>6</sub>(ジシラン)等を用いることができる。また、Ge供給源ガスとしてはGeH<sub>4</sub>等を用いることができる。このとき、Si供給源ガスとGe供給源ガスとの混合比率を変化させることによって、SiGe層13中のGe濃度(質量%濃度:以下同じ)を調整することができる。例えば、SiH<sub>4</sub>とGeH<sub>4</sub>とのガス流量比を1:5とすることによって、Ge濃度が約50%のSiGe層13を得ることが可能である。

【0072】次に、図1(c)に示すように、Si供給源ガスを500°C程度で用いたLPCVD法により、SiGe層13上に例えば膜厚40nmのシリコン層(以下、Si層と称する)14をアモルファス状態で成膜する。このとき、Si層14の堆積を、SiGe層13の堆積と同一のチャンバーでソースガス等を変化させて連続的に行なってもよいし、Si層14の堆積とSiGe層13の堆積とを互いに異なるチャンバーで連続的に行

なってもよいし、又は、Si層14の堆積とSiGe層13の堆積とを互いに異なるチャンバーでそれぞれ完全に独立した工程として行なってもよい。

【0073】その後、図1(c)に示すように、例えば注入エネルギー5keV、ドーズ量 $1 \times 10^{11}/\text{cm}^2$ でボロンをSiGe層13にイオン注入する。

【0074】次に、ゲート電極形成領域を覆うマスクパターン(図示省略)を用いてSi層14、SiGe層13及びゲート絶縁膜12に対して順次エッチングを行なうことにより、図1(d)に示すように、シリコン基板11上にゲート絶縁膜12を介して、SiGe層13及びSi層14からなるゲート電極15を形成する。

【0075】尚、第1の実施形態においては、Si層14の形成後、SiGe層13へのボロン注入が終了するまでは、熱処理を伴う工程を行なわないことによって、Si層14をアモルファス状態に保つようとする。これにより、SiGe層13に注入されるボロンがシリコン基板11に突き抜けたり又は該ボロンの注入深さが深くなる事態を防止することができる。但し、SiGe層13へのボロン注入が終了した後は、例えば、ゲート電極15上に層間絶縁膜を堆積する工程等に伴う熱処理によって、Si層14は最終的には多結晶状態に変化する。

【0076】以上に説明したように、第1の実施形態によると、シリコン基板11上にゲート絶縁膜12を介してSiGe層13及びアモルファス状態のSi層14を順次成膜した後、SiGe層13にボロンをイオン注入し、その後、SiGe層13及びSi層14をパターン化してゲート電極15を形成する。このため、アモルファス状態のSi層14を介してSiGe層13にボロンがイオン注入されるので、ボロンの注入深さを十分に浅くすることができると共にチャネリングによるボロンのシリコン基板11に対する突き抜けを防止することができる。従って、ゲート電極15を構成するSiGe層13にドープされたボロンが熱処理等によりシリコン基板11にしみ出す事態を防止でき、それによって、シリコン基板11中の不純物濃度の変化に起因する素子特性の変動を抑制することができる。

【0077】図2は、SiGe層13の膜厚の変化に伴うゲート電極15のフラットバンド電圧(以下、V<sub>f</sub>bと称する)の変化の様子を示す図である。尚、図2に示すデータは、ゲート絶縁膜12の膜厚が3nm程度、SiGe層13中のGe濃度が20%程度、ボロンをイオン注入するときの注入エネルギーが5keV程度である場合に得られたものである。また、図2において、Si層14の膜厚が20nmのときのV<sub>f</sub>bの変化の様子を黒丸及び実線で表しており、Si層14の膜厚が30nmのときのV<sub>f</sub>bの変化の様子を黒四角及び一点鎖線で表しており、Si層14の膜厚が40nmのときのV<sub>f</sub>bの変化の様子を白三角及び破線で表している。

【0078】図2に示すように、Si層14の膜厚が2

0 nmの場合、SiGe層の膜厚が75 nmでV<sub>fb</sub>が0.598 Vであり、SiGe層の膜厚が100 nmでV<sub>fb</sub>が0.217 Vであり、SiGe層の膜厚が125 nmでV<sub>fb</sub>が0.079 Vである。また、Si層14の膜厚が30 nmの場合、SiGe層の膜厚が50 nmでV<sub>fb</sub>が0.683 Vであり、SiGe層の膜厚が75 nmでV<sub>fb</sub>が0.282 Vであり、SiGe層の膜厚が125 nmでV<sub>fb</sub>が0.062 Vである。また、Si層14の膜厚が40 nmの場合、SiGe層の膜厚が50 nmでV<sub>fb</sub>が0.201 Vであり、SiGe層の膜厚が75 nmでV<sub>fb</sub>が0.121 Vであり、SiGe層の膜厚が100 nmでV<sub>fb</sub>が0.074 Vであり、SiGe層の膜厚が125 nmでV<sub>fb</sub>が0.054 Vである。V<sub>fb</sub>が小さいほど、ボロンのしみ出しが少ないことを意味しているので、SiGe層の膜厚が80 nm程度の場合、Si層14の膜厚を30 nm程度以上にすることによって、ボロンがシリコン基板11にしみ出す事態を十分に防止することができる。

【0079】また、第1の実施形態によると、ゲート電極15を構成するSiGe層13にボロンをドープするので、ゲート電極15のしきい値電圧（以下、V<sub>t</sub>と称する）調整能力を向上させることができる。

【0080】また、第1の実施形態によると、SiGe層13におけるボロンの活性化率が、通常のポリシリコン膜等におけるボロンの活性化率と比べて高いため、ボロンがシリコン基板11にしみ出す事態をより確実に防止することができる。

【0081】また、第1の実施形態によると、SiGe層13がSi層14により覆われているため、SiGe層13から飛び出たGe原子によるクロスコンタミネーションを防止できるので、Si層からなるゲート電極を製造するためのプロセス（以下、Siプロセスと称する）を利用することができる。

【0082】尚、第1の実施形態において、SiGe層13にボロンをイオン注入したが、これに代えて、リン（p）をイオン注入（例えば注入エネルギー10 keV、ドーズ量 $5 \times 10^{14} / \text{cm}^2$ ）してもよいし、又はボロン及びリンをイオン注入してもよい。また、SiGe層13の成膜後にイオン注入を用いてSiGe層13にボロン又はリン等をドープする代わりに、SiGe層13の成膜時にSi供給源ガス及びGe供給源ガスと共にボロン若しくはリン等を含むガス（例えばB<sub>2</sub>H<sub>6</sub>等）を用いてボロン若しくはリン等を含むSiGe層13を成膜してもよいし、又は、SiGe層13の成膜後に例えばPH<sub>3</sub>（fosfin）等の熱拡散を用いてボロン若しくはリン等をSiGe層13にドープしてもよい。

【0083】また、第1の実施形態において、SiGe層13に対するボロン等のドープを省略してもよい。具体的には、ゲート電極15を構成するSiGe層13中

のGe濃度を調整することによりバンドギャップを変化させることができるために、SiGe層13に対してボロン等のドープを行なうことなく、ゲート電極15のV<sub>t</sub>調整能力を向上させることができる。その結果、本実施形態をデュアルゲートの形成に応用する場合にも、ボロン等の不純物のしみ出しを懸念する必要がない。また、Si層14をアモルファス状態で成膜する必要がなくなり、又はボロン等の不純物注入が終了するまでSi層14をアモルファス状態に保つ必要がなくなる。

【0084】また、第1の実施形態において、Si供給源ガスとGe供給源ガスとを500°C程度以下で用いたLPCVD法により、SiGe層13をアモルファス状態で成膜することが好ましい。このようにすると、ボロンがシリコン基板11にしみ出す事態をより確実に防止することができる。

【0085】（第1の実施形態の変形例）以下、本発明の第1の実施形態の変形例に係る半導体装置及びその製造方法について、図面を参照しながら説明する。

【0086】第1の実施形態の変形例に係る半導体装置の製造方法が第1の実施形態と異なっている点は、SiGe層13を成膜する工程（図1（b）参照）において、Si供給源ガスとGe供給源ガスとの混合比率を経時変化させることによって、SiGe層13中のGe濃度を深さ方向に変化させることである。

【0087】具体的には、SiGe層13の成膜初期においてはGe供給源ガスの比率を0又は低くすることにより、SiGe層13の下面近傍部分（SiGe層13におけるゲート絶縁膜12との界面近傍部分）でのGe濃度を例えば10%程度にする一方、SiGe層13の成膜に伴ってGe供給源ガスの比率を高くすることにより、SiGe層13の上面近傍部分でのGe濃度を例えば70%程度にする。

【0088】このようにすると、Ge濃度の低下に伴ってSiGe層13の表面モフォロジーが良好になるため、ゲート絶縁膜12とSiGe層13との界面に凹凸を生じることがないので、言い換えると、該界面に電界集中が発生することができないので、ゲート絶縁膜12の耐圧の低下を防止することができる。また、SiGe層13の成膜初期においてゲート絶縁膜12が高濃度のGe供給源ガスにさらされる事態を回避できるので、ゲート絶縁膜12の特性変動を防止することができる。さらに、ゲート電極15を構成するSiGe層13全体としてのGe濃度が低下することができるので、ゲート電極15のV<sub>t</sub>調整能力の劣化を抑制することができる。

【0089】尚、SiGe層13の成膜に伴ってGe供給源ガスの比率を高くする場合、Ge供給源ガスの比率を連続的に高くすることによって、例えば図3（a）に示すように、SiGe層13中のGe濃度を深さ方向に連続的に変化させてもよい。また、Ge供給源ガスの比率を不連続的に高くすることによって、例えば図3

(b) に示すように、SiGe層13中のGe濃度を深さ方向に不連続的に変化させてもよい。

【0090】第1の実施形態の变形例によると、第1の実施形態の効果に加えて、次のような効果が得られる。

【0091】すなわち、第1の実施形態の变形例においては、SiGe層13を成膜する工程でSi供給源ガスとGe供給源ガスとの混合比率を経時変化させることによって、SiGe層13の下面近傍部分でのGe濃度を、SiGe層13の下面近傍部分以外の他の部分でのGe濃度と比べて低くする。このため、ゲート電極15のV<sub>t</sub>調整能力の劣化を抑制しつつ、ゲート絶縁膜12の耐圧低下若しくは特性変動を防止することができる。

【0092】(第2の実施形態)以下、本発明の第2の実施形態に係る半導体装置及びその製造方法について、図面を参照しながら説明する。

【0093】図4(a)～(d)は第2の実施形態に係る半導体装置の製造方法の各工程を示す断面図である。

【0094】まず、図4(a)に示すように、一導電型のシリコン基板21上に例えば膜厚3nm程度のゲート絶縁膜22を形成した後、例えばSiH<sub>4</sub>等のSi供給源ガスを500°C程度で用いたLPCVD法により、ゲート絶縁膜22の上に例えば膜厚10nmの下部シリコン層(以下、下部Si層と称する)23をアモルファス状態で成膜する。

【0095】次に、図4(b)に示すように、Si供給源ガスとGe供給源ガスとを600°C程度以下で用いたLPCVD法により、下部Si層23上に例えば膜厚100nmのSiGe層24を成膜する。このとき、Si供給源ガスとGe供給源ガスとの混合比率を変化させることによって、SiGe層24中のGe濃度を調整することが可能である。

【0096】次に、図4(c)に示すように、Si供給源ガスを500°C程度で用いたLPCVD法によりSiGe層24上に例えば膜厚40nmの上部シリコン層(以下、上部Si層と称する)25をアモルファス状態で成膜する。

【0097】尚、下部Si層23若しくは上部Si層25の堆積を、SiGe層24の堆積と同一のチャンバーでソースガス等を変化させて連続的に行なってもよいし、下部Si層23若しくは上部Si層25の堆積とSiGe層24の堆積とを互いに異なるチャンバーで連続的に行なってもよいし、又は、下部Si層23若しくは上部Si層25の堆積とSiGe層24の堆積とを互いに異なるチャンバーでそれぞれ完全に独立した工程として行なってもよい。

【0098】その後、図4(c)に示すように、例えば注入エネルギー5keV、ドーズ量 $1 \times 10^{16} / \text{cm}^2$ でボロンをSiGe層24にイオン注入する。

【0099】次に、ゲート電極形成領域を覆うマスクパターン(図示省略)を用いて上部Si層25、SiGe

層24、下部Si層23及びゲート絶縁膜22に対して順次エッチングを行なうことにより、図4(d)に示すように、シリコン基板21上にゲート絶縁膜22を介して、下部Si層23、SiGe層24及び上部Si層25からなるゲート電極26を形成する。

【0100】尚、第2の実施形態においては、上部Si層25の形成後、SiGe層24へのボロン注入が終了するまでは、熱処理を伴う工程を行なわないことによって、上部Si層25をアモルファス状態に保つようとする。これにより、SiGe層24に注入されるボロンがシリコン基板21に突き抜けたり又は該ボロンの注入深度が深くなる事態を防止することができる。但し、SiGe層24へのボロン注入が終了した後は、例えば、ゲート電極26上に層間絶縁膜を堆積する工程等に伴う熱処理によって、上部Si層25は最終的には多結晶状態に変化する。

【0101】以上に説明したように、第2の実施形態によると、シリコン基板21上にゲート絶縁膜22を介して、アモルファス状態の下部Si層23、SiGe層24及びアモルファス状態の上部Si層25を順次成膜した後、SiGe層24にボロンをイオン注入し、その後、下部Si層23、SiGe層24及び上部Si層25をバターン化してゲート電極26を形成する。このため、アモルファス状態の上部Si層25を介してSiGe層24にボロンがイオン注入されるので、ボロンの注入深度を十分に浅くすることができると共にチャネリングによるボロンのシリコン基板21に対する突き抜けを防止することができる。従って、ゲート電極26を構成するSiGe層24にドープされたボロンが熱処理等によりシリコン基板21にしみ出す事態を防止でき、それによって、シリコン基板21中の不純物濃度の変化に起因する素子特性の変動を抑制することができる。また、ゲート電極26におけるSiGe層24の下側に、SiGe層24よりも表面モフォロジーが良好な下部Si層23が形成されるため、ゲート絶縁膜22の耐圧(以下、絶縁膜耐圧と称する)を確保することができる。具体的には、ゲート絶縁膜22とSiGe層24とが直接接した場合には、ゲート絶縁膜22とSiGe層24との界面に凹凸が生じる結果、該界面に電界集中が発生して絶縁膜耐圧が低下する事態が起きる一方、第2の実施形態においては係る事態を防止することができる。

【0102】また、第2の実施形態によると、ゲート電極26を構成するSiGe層24にボロンをドープするので、ゲート電極26のV<sub>t</sub>調整能力を向上させることができる。

【0103】また、第2の実施形態によると、SiGe層24におけるボロンの活性化率が、通常のポリシリコン膜等におけるボロンの活性化率と比べて高いため、ボロンがシリコン基板21にしみ出す事態をより確実に防止することができる。

【0104】また、第2の実施形態によると、SiGe層24が上部Si層25により覆われているため、SiGe層24から飛び出たGe原子によるクロスコンタミネーションを防止できるので、Siプロセスを利用することができる。

【0105】尚、第2の実施形態において、SiGe層24にボロンをイオン注入したが、これに代えて、リンをイオン注入（例えば注入エネルギー10keV、ドーズ量 $5 \times 10^{14} / \text{cm}^2$ ）してもよいし、又はボロン及びリンをイオン注入してもよい。また、SiGe層24の成膜後にイオン注入を用いてSiGe層24にボロン又はリン等をドープする代わりに、SiGe層24の成膜時にSi供給源ガス及びGe供給源ガスと共にボロン若しくはリン等を含むガス（例えばB<sub>2</sub>H<sub>6</sub>等）を用いてボロン若しくはリン等を含むSiGe層24を成膜してもよいし、又は、SiGe層24の成膜後に例えばPH<sub>3</sub>等の熱拡散を用いてボロン若しくはリン等をSiGe層24にドープしてもよい。

【0106】また、第2の実施形態において、SiGe層24に対するボロン等のドープを省略してもよい。具体的には、ゲート電極26を構成するSiGe層24中のGe濃度を調整することによりバンドギャップを変化させることができるために、SiGe層24に対してボロン等のドープを行なうことなく、ゲート電極26のV<sub>t</sub>調整能力を向上させることができる。その結果、本実施形態をデュアルゲートの形成に応用する場合にも、ボロン等の不純物のしみ出しを懸念する必要がない。また、上部Si層25をアモルファス状態で成膜する必要がなくなり、又はボロン等の不純物注入が終了するまで上部Si層25をアモルファス状態に保つ必要がなくなる。

【0107】また、第2の実施形態において、Si供給源ガスとGe供給源ガスとを500°C程度以下で用いたLPCVD法により、SiGe層24をアモルファス状態で成膜することが好ましい。このようにすると、ボロンがシリコン基板21にしみ出す事態をより確実に防止することができる。

【0108】また、第2の実施形態において、SiGe層24を成膜する工程でSi供給源ガスとGe供給源ガスとの混合比率を経時変化させることによって、SiGe層24の下面近傍部分でのGe濃度を、SiGe層24の下面近傍部分以外の他の部分でのGe濃度と比べて低くすることが好ましい。このようにすると、ゲート電極26のV<sub>t</sub>調整能力の劣化を抑制しつつ、ゲート絶縁膜22の耐圧低下若しくは特性変動を防止することができる。

【0109】（第2の実施形態の変形例）以下、本発明の第2の実施形態の変形例に係る半導体装置及びその製造方法について、図面を参照しながら説明する。

【0110】第2の実施形態の変形例に係る半導体装置の製造方法が第2の実施形態と異なっている点は次の通

りである。すなわち、第2の実施形態においては、SiGe層24に対するボロン注入を、SiGe層24の形成後にイオン注入を用いて行なったが、第2の実施形態の変形例においては、SiGe層24に対するボロン注入を、SiGe層24の形成時にSi供給源ガス及びGe供給源ガスと共に、例えばB<sub>2</sub>H<sub>6</sub>等のボロンを含むガス（以下、B供給源ガス）を用いて行なうことである。

【0111】図5（a）～（d）は第2の実施形態の変形例に係る半導体装置の製造方法の各工程を示す断面図である。

【0112】まず、第2の実施形態の図4（a）に示す工程と同じく図5（a）に示すように、一導電型のシリコン基板21上に例えば膜厚3nm程度のゲート絶縁膜22を形成した後、例えばSiH<sub>4</sub>等のSi供給源ガスを500°C程度で用いたLPCVD法により、ゲート絶縁膜22の上に例えば膜厚10nmの下部Si層23をアモルファス状態で成膜する。

【0113】次に、図5（b）に示すように、Si供給源ガスとGe供給源ガスとB供給源ガスとを600°C程度以下で用いたLPCVD法により、下部Si層23上に例えばボロンを含む膜厚100nmのSiGe層24を成膜する。このとき、Si供給源ガスとGe供給源ガスとの混合比率を変化させることによって、SiGe層24中のGe濃度を調整することが可能である。

【0114】次に、第2の実施形態と同じく、図5（c）に示すように、Si供給源ガスを500°C程度で用いたLPCVD法により、SiGe層24上に例えば膜厚40nmの上部Si層25をアモルファス状態で成膜する。

【0115】次に、第2の実施形態と同じく、ゲート電極形成領域を覆うマスクパターン（図示省略）を用いて上部Si層25、SiGe層24、下部Si層23及びゲート絶縁膜22に対して順次エッチングを行なうことにより、図5（d）に示すように、シリコン基板21上にゲート絶縁膜22を介して、下部Si層23、SiGe層24及び上部Si層25からなるゲート電極26を形成する。

【0116】第2の実施形態の変形例によると、第2の実施形態の効果に加えて、次のような効果が得られる。

【0117】すなわち、第2の実施形態の変形例においては、Si供給源ガス及びGe供給源ガスと共にB供給源ガスを用いることにより、ボロンを含むSiGe層24を成膜する。このため、イオン注入を用いることなく、SiGe層24にボロンをドープできるので、チャネリングによるボロンのシリコン基板21に対する突き抜けが生じない。従って、ボロンの注入後にに行なわれる熱処理等によってボロンがシリコン基板21にしみ出す事態を確実に防止することができる。

【0118】尚、第2の実施形態の変形例において、Si供給源ガス及びGe供給源ガスと共にB供給源ガスを

用いて、ボロンを含むSiGe層24を形成したが、これに代えて、Si供給源ガス及びGe供給源ガスと共に例えばPH<sub>3</sub>等のリンを含むガスを用いて、リンを含むSiGe層を形成してもよいし、又は、Si供給源ガス及びGe供給源ガスと共にボロン及びリンを含むガスを用いて、ボロン及びリンを含むSiGe層を形成してもよい。

【0119】(第3の実施形態)以下、本発明の第3の実施形態に係る半導体装置及びその製造方法について、図面を参照しながら説明する。

【0120】図6(a)～(c)は第3の実施形態に係る半導体装置の製造方法の各工程を示す断面図である。

【0121】まず、図6(a)に示すように、一導電型のシリコン基板31上に例えば膜厚3nm程度のゲート絶縁膜32を形成する。

【0122】次に、図6(b)に示すように、Si供給源ガスとGe供給源ガスとを500°C程度以下で用いたLPCVD法により、ゲート絶縁膜32の上に例えば膜厚100nm程度のSiGe層33をアモルファス状態で成膜する。このとき、Si供給源ガスとGe供給源ガスとの混合比率を変化させることによって、SiGe層33中のGe濃度を調整することが可能である。その後、例えば注入エネルギー5keV、ドーズ量 $1 \times 10^{11}/cm^2$ でボロンをSiGe層33にイオン注入する。

【0123】次に、ゲート電極形成領域を覆うマスクパターン(図示省略)を用いてSiGe層33及びゲート絶縁膜32に対して順次エッチングを行なうことにより、図6(c)に示すように、シリコン基板31上にゲート絶縁膜32を介して、SiGe層33からなるゲート電極34を形成する。

【0124】尚、第3の実施形態においては、SiGe層33の形成後、SiGe層33へのボロン注入が終了するまでは、熱処理を伴う工程を行なわないことによって、SiGe層33をアモルファス状態に保つようとする。これにより、SiGe層33に注入されるボロンがシリコン基板31に突き抜けたり又は該ボロンの注入深度が深くなる事態を防止することができる。但し、SiGe層33へのボロン注入が終了した後は、例えば、ゲート電極34上に層間絶縁膜を堆積する工程等に伴う熱処理によって、SiGe層33は最終的には多結晶状態に変化する。

【0125】以上に説明したように、第3の実施形態によると、シリコン基板31上にゲート絶縁膜32を介してアモルファス状態のSiGe層33を成膜した後、SiGe層33にボロンをイオン注入し、その後、SiGe層33をバターン化してゲート電極34を形成する。このため、アモルファス状態のSiGe層33にボロンがイオン注入されるので、ボロンの注入深度を十分に浅くすることができると共にチャネリングによるボロンの

シリコン基板31に対する突き抜けを防止することができる。従って、ゲート電極34を構成するSiGe層33にドープされたボロンが熱処理等によりシリコン基板31にしみ出す事態を防止でき、それによって、シリコン基板31中の不純物濃度の変化に起因する素子特性の変動を抑制することができる。また、SiGe層33は多結晶状態のときよりもアモルファス状態のときの方が表面モフォロジーが良好になるので、SiGe層33におけるゲート絶縁膜32との界面近傍の表面モフォロジーが良好になる結果、ゲート絶縁膜32の耐圧が向上する。さらに、ゲート電極34がSiGe層33のみにより構成されるため、積層構造を有するゲート電極を形成する場合と比べて工程を簡単にすくことができると共に、ゲート電極34の膜厚を例えば100nm以下に薄膜化することができる。

【0126】また、第3の実施形態によると、ゲート電極34を構成するSiGe層33にボロンをドープするので、ゲート電極34のVt調整能力を向上させることができる。

【0127】また、第3の実施形態によると、SiGe層33におけるボロンの活性化率が、通常のポリシリコン膜等におけるボロンの活性化率と比べて高いため、ボロンがシリコン基板31にしみ出す事態をより確実に防止することができる。

【0128】尚、第3の実施形態において、SiGe層33にボロンをイオン注入したが、これに代えて、リンをイオン注入(例えば注入エネルギー10keV、ドーズ量 $5 \times 10^{11}/cm^2$ )してもよいし、又はボロン及びリンをイオン注入してもよい。また、SiGe層33の成膜後にイオン注入を用いてSiGe層33にボロン又はリン等をドープする代わりに、SiGe層33の成膜時にSi供給源ガス及びGe供給源ガスと共にボロン若しくはリン等を含むガス(例えばB<sub>2</sub>H<sub>6</sub>等)を用いてボロン若しくはリン等を含むSiGe層33を成膜してもよいし、又は、SiGe層33の成膜後に例えばPH<sub>3</sub>等の熱拡散を用いてSiGe層33にボロン若しくはリン等をドープしてもよい。

【0129】また、第3の実施形態において、SiGe層33に対するボロン等のドープを省略してもよい。具体的には、ゲート電極34となるSiGe層33中のGe濃度を調整することによりバンドギャップを変化させることができるために、SiGe層33に対してボロン等のドープを行なうことなく、ゲート電極34のVt調整能力を向上させることができる。その結果、本実施形態をデュアルゲートの形成に応用する場合にも、ボロン等の不純物のしみ出しを懸念する必要がない。また、SiGe層33をアモルファス状態で成膜する必要がなくなり、又はボロン等の不純物注入が終了するまでSiGe層33をアモルファス状態に保つ必要がなくなる。

【0130】また、第3の実施形態において、SiGe

層33を成膜する工程でSi供給源ガスとGe供給源ガスとの混合比率を経時変化させることによって、SiGe層33の下面近傍部分でのGe濃度を、SiGe層33の下面近傍部分以外の他の部分でのGe濃度と比べて低くすることが好ましい。このようにすると、ゲート電極34のVt調整能力の劣化を抑制しつつ、ゲート絶縁膜32の耐圧低下若しくは特性変動を防止することができる。

【0131】また、第3の実施形態において、ゲート電極34におけるSiGe層33の上に上部シリコン層を形成してもよいし、ゲート電極34におけるSiGe層33の下に下部シリコン層を形成してもよい。

【0132】(第3の実施形態の変形例)以下、本発明の第3の実施形態の変形例に係る半導体装置及びその製造方法について、図面を参照しながら説明する。

【0133】第3の実施形態の変形例に係る半導体装置の製造方法が第3の実施形態と異なっている点は、ゲート電極34の形成後に、ゲート電極34上にシリコン窒化膜を堆積する工程を備えていることである。

【0134】図7(a)～(e)は第3の実施形態の変形例に係る半導体装置の製造方法の各工程を示す断面図である。

【0135】まず、第3の実施形態の図6(a)に示す工程と同じく図7(a)に示すように、一導電型のシリコン基板31上に例えば膜厚3nm程度のゲート絶縁膜32を形成する。

【0136】次に、第3の実施形態の図6(b)に示す工程と同じく図7(b)に示すように、Si供給源ガスとGe供給源ガスとを500°C程度以下で用いたLPCVD法により、ゲート絶縁膜32の上に例えば膜厚100nm程度のSiGe層33をアモルファス状態で成膜する。このとき、Si供給源ガスとGe供給源ガスとの混合比率を変化させることによって、SiGe層33中のGe濃度を調整することが可能である。具体的には、第3の実施形態の変形例においては、SiGe層33中のGe濃度を20%程度に設定する。その後、例えば注入エネルギー5keV、ドーズ量 $1 \times 10^{11}/\text{cm}^2$ でボロンをSiGe層33にイオン注入する。

【0137】次に、第3の実施形態と同じく、ゲート電極形成領域を覆うマスクパターン(図示省略)を用いてSiGe層33及びゲート絶縁膜32に対して順次エッチングを行なうことにより、図7(c)に示すように、シリコン基板31上にゲート絶縁膜32を介して、SiGe層33からなるゲート電極34を形成する。その後、例えばゲート電極34をマスクとして用いるイオン注入により、シリコン基板31に不純物をドープして、ソース領域又はドレイン領域となる不純物拡散層35を形成する。

【0138】次に、図7(d)に示すように、ゲート電極34の上を含むシリコン基板31の上に、例えば膜厚

50nm程度のシリコン酸化膜36を堆積した後、図7(e)に示すように、シリコン酸化膜36の上に例えば膜厚100nm程度のシリコン窒化膜37を堆積する。

【0139】次に、図示は省略しているが、シリコン窒化膜37の上に層間絶縁膜を堆積した後、シリコン酸化膜36、シリコン窒化膜37及び層間絶縁膜に、該層間絶縁膜上に形成される配線と不純物拡散層35とを接続するコンタクトを形成する。このとき、シリコン窒化膜37は、コンタクトホールを形成するために層間絶縁膜に対して行なわれるエッチングのストップーとして機能する。

【0140】第3の実施形態の変形例によると、第3の実施形態の効果に加えて、次のような効果が得られる。

【0141】一般に、ボロンがドープされたゲート電極の形成後にゲート電極上にシリコン窒化膜を堆積して熱処理(例えば層間絶縁膜の堆積に伴う熱処理等)を行なうと、シリコン窒化膜を堆積することなく熱処理を行なう場合と比べて、ゲート電極中のボロンが半導体基板に著しくしみ出す。

【0142】それに対して、第3の実施形態の変形例においては、アモルファス状態のSiGe層33にボロンがイオン注入されるので、ボロンの注入深さを十分に浅くすることができると共にチャネリングによるボロンのシリコン基板31に対する突き抜けを防止することができる。従って、SiGe層33からなるゲート電極34上にシリコン窒化膜37が堆積されていても、ゲート電極34中のボロンが熱処理によりシリコン基板31にしみ出す事態を防止できる。

【0143】尚、第3の実施形態の変形例において、シリコン窒化膜37の上に層間絶縁膜を堆積した後、シリコン窒化膜37を層間絶縁膜に対するエッチングのストップーとして用いたが、これに代えて、ゲート電極34の側面にシリコン窒化膜37からなるサイドウォールを形成してもよい。具体的には、図7(e)に示す工程でゲート電極34の上にシリコン酸化膜36を介してシリコン窒化膜37を堆積した後に、図8に示すように、シリコン窒化膜37をエッチバックして、ゲート電極34の側面にシリコン酸化膜36を介して、シリコン窒化膜37からなるサイドウォール37Aを形成してもよい。

【0144】このようにすると、LDI構造を有するMOSトランジスタを形成することができる。

【0145】また、第3の実施形態の変形例において、SiGe層33にボロンをドープするためのイオン注入と、不純物拡散層35を形成するためのイオン注入とを別々の工程で行なったが、これに代えて、ゲート電極34の形成後に、両方のイオン注入を同一の工程で行なつてもよい。

【0146】(第4の実施形態)以下、本発明の第4の実施形態に係る半導体装置及びその製造方法について、図面を参照しながら説明する。

【0146】図9(a)～(e)は第4の実施形態に係る半導体装置の製造方法の各工程を示す断面図である。

【0147】まず、図9(a)に示すように、一導電型のシリコン基板41上に例えば膜厚3nm程度のゲート絶縁膜42を形成する。

【0148】次に、図9(b)に示すように、Si供給源ガスとGe供給源ガスとを500°C程度以下で用いたLPCVD法により、ゲート絶縁膜42の上に例えば膜厚100nm程度のSiGe層43をアモルファス状態で成膜する。このとき、Si供給源ガスとGe供給源ガスとの混合比率を変化させることによって、SiGe層43中のGe濃度を調整することが可能である。具体的には、第4の実施形態においては、SiGe層43中のGe濃度を20%程度に設定する。その後、例えば注入エネルギー5keV、ドーズ量 $1 \times 10^{14}/\text{cm}^2$ でボロンをSiGe層43にイオン注入する。

【0149】次に、図9(c)に示すように、SiGe層43上に例えばタンクステンからなる膜厚50nm程度の金属層44を形成した後、図9(d)に示すように、金属層44上に、例えば膜厚50nm程度のシリコン酸化膜45及び例えば膜厚100nm程度のシリコン窒化膜46を順次形成する。

【0150】次に、ゲート電極形成領域を覆うレジストパターン(図示省略)を用いてシリコン窒化膜46及びシリコン酸化膜45に対して順次エッティングを行なった後、バターン化されたシリコン窒化膜46及びシリコン酸化膜45をハードマスクとして、金属層44、SiGe層43及びゲート絶縁膜42に対して順次エッティングを行なうことにより、図9(e)に示すように、シリコン基板41上にゲート絶縁膜42を介して、SiGe層43及び金属層44からなるポリメタルゲート電極47を形成する。

【0151】尚、第4の実施形態においては、SiGe層43の形成後、SiGe層43へのボロン注入が終了するまでは、熱処理を伴う工程を行なわないことによって、SiGe層43をアモルファス状態に保つようとする。これにより、SiGe層43に注入されるボロンがシリコン基板41に突き抜けたり又は該ボロンの注入深さが深くなる事態を防止することができる。但し、SiGe層43へのボロン注入が終了した後は、例えば、ポリメタルゲート電極47上に層間絶縁膜を堆積する工程等に伴う熱処理によって、SiGe層43は最終的には多結晶状態に変化する。

【0152】以上に説明したように、第4の実施形態によると、シリコン基板41上にゲート絶縁膜42を介してアモルファス状態のSiGe層43を成膜した後、SiGe層43にボロンをイオン注入し、その後、SiGe層43上に金属層44を堆積した後、SiGe層43及び金属層44をバターン化してポリメタルゲート電極47を形成する。このため、アモルファス状態のSiG

e層43にボロンがイオン注入されるので、ボロンの注入深さを十分に浅くすることができると共にチャネリングによるボロンのシリコン基板41に対する突き抜けを防止することができる。従って、ポリメタルゲート電極47を構成するSiGe層43にドープされたボロンが熱処理等によりシリコン基板41にしみ出す事態を防止でき、それによって、シリコン基板41中の不純物濃度の変化に起因する素子特性の変動を抑制することができる。また、SiGe層43は多結晶状態のときよりもアモルファス状態のときの方が表面モフォロジーが良好になるので、SiGe層43におけるゲート絶縁膜42との界面近傍の表面モフォロジーが良好になる結果、ゲート絶縁膜42の耐圧が向上する。

【0153】また、第4の実施形態によると、ポリメタルゲート電極47を構成するSiGe層43にボロンをドープするので、ポリメタルゲート電極47のVt調整能力を向上させることができる。

【0154】また、第4の実施形態によると、SiGe層43におけるボロンの活性化率が、通常のポリシリコン膜等におけるボロンの活性化率と比べて高いため、ボロンがシリコン基板41にしみ出す事態をより確実に防止することができる。

【0155】ところで、一般に、ゲート電極を構成する材料膜を形成してボロンを注入した後に該材料膜上にシリコン窒化膜を堆積して熱処理(例えばゲート電極形成後に行なわれる層間絶縁膜の堆積に伴う熱処理等)を行なうと、シリコン窒化膜を堆積することなく熱処理を行なう場合と比べて、ゲート電極を構成する材料膜中のボロンが半導体基板に著しくしみ出す。

【0156】それに対して、第4の実施形態においては、アモルファス状態のSiGe層43にボロンがイオン注入されるので、ボロンの注入深さを十分に浅くすることができると共にチャネリングによるボロンのシリコン基板41に対する突き抜けを防止することができる。従って、SiGe層43を有するポリメタルゲート電極47上にシリコン窒化膜46が堆積されても、SiGe層43中のボロンが熱処理によりシリコン基板41にしみ出す事態を防止できる。

【0157】また、第4の実施形態によると、SiGe層43を有するポリメタルゲート電極47上にシリコン酸化膜45を介してシリコン窒化膜46が堆積されているため、SiGe層43中のボロンが熱処理によってシリコン基板41にしみ出す事態をより確実に防止することができる。

【0158】尚、第4の実施形態において、SiGe層43にボロンをイオン注入したが、これに代えて、リンをイオン注入(例えば注入エネルギー10keV、ドーズ量 $5 \times 10^{14}/\text{cm}^2$ )してもよいし、又はボロン及びリンをイオン注入してもよい。また、SiGe層43の成膜後にイオン注入を用いてSiGe層43にボロン

又はリン等をドープする代わりに、SiGe層43の形成時にSi供給源ガス及びGe供給源ガスと共にボロン若しくはリン等を含むガス（例えばB<sub>x</sub>H<sub>y</sub>等）を用いてボロン若しくはリン等を含むSiGe層43を成膜してもよいし、又は、SiGe層43の成膜後に例えばPH<sub>x</sub>等の熱拡散を用いてSiGe層43にボロン若しくはリン等をドープしてもよい。

【0159】また、第4の実施形態において、SiGe層43に対するボロン等のドープを省略してもよい。具体的には、ポリメタルゲート電極47を構成するSiGe層43中のGe濃度を調整することによりバンドギャップを変化させることができるために、SiGe層43に対してボロン等のドープを行なうことなく、ポリメタルゲート電極47のV<sub>t</sub>調整能力を向上させることができる。その結果、本実施形態をデュアルゲートの形成に応用する場合にも、ボロン等の不純物のしみ出しを懸念する必要がない。また、SiGe層43をアモルファス状態で成膜する必要がなくなり、又はボロン等の不純物注入が終了するまでSiGe層43をアモルファス状態に保つ必要がなくなる。

【0160】また、第4の実施形態において、SiGe層43を成膜する工程でSi供給源ガスとGe供給源ガスとの混合比率を経時変化させることによって、SiGe層43の下面近傍部分でのGe濃度を、SiGe層43の下面近傍部分以外の他の部分でのGe濃度と比べて低くすることが好ましい。このようにすると、ポリメタルゲート電極47のV<sub>t</sub>調整能力の劣化を抑制しつつ、ゲート絶縁膜42の耐圧低下若しくは特性変動を防止することができる。

【0161】また、第4の実施形態において、ポリメタルゲート電極47におけるSiGe層43と金属層44との間に上部シリコン層を形成してもよいし、ポリメタルゲート電極47におけるSiGe層43の下に下部シリコン層を形成してもよい。

【0162】また、第4の実施形態において、金属層44上にシリコン酸化膜45（例えば膜厚50nm程度）及びシリコン窒化膜46（例えば膜厚100nm程度）を形成したが、これに代えて、金属層44上にシリコン窒化膜46（例えば膜厚150nm程度）のみを形成してもよい。

【0163】（第5の実施形態）以下、本発明の第5の実施形態に係る半導体装置及びその製造方法について、図面を参照しながら説明する。

【0164】第5の実施形態に係る半導体装置の製造方法の特徴は、第1～第4の実施形態に係る半導体装置の製造方法のいずれかを用いて、デュアルゲートCMOSFETを形成することである。

【0165】図10(a)、(b)は第5の実施形態に係る半導体装置の製造方法の各工程を示す断面図である。

【0166】まず、図10(a)に示すように、シリコン基板51の表面部に素子分離52により区画されたn型半導体領域51a及びp型半導体領域51bを形成する。

【0167】次に、第1～第4の実施形態に係る半導体装置の製造方法のいずれかを用いて、図10(b)に示すように、n型半導体領域51aの上にゲート絶縁膜53を介して、例えばボロン等のp型不純物がドープされたSiGe層を有するp+ゲート電極54aを形成すると共に、p型半導体領域51bの上にゲート絶縁膜53を介して、例えばリン等のn型不純物がドープされたSiGe層を有するn+ゲート電極54bを形成する。

【0168】その後、図示は省略しているが、n型半導体領域51aにp型不純物拡散層からなるソース領域及びドレイン領域を形成すると共に、p型半導体領域51bにn型不純物拡散層からなるソース領域及びドレイン領域を形成することによって、pチャネルMOSFETとnチャネルMOSFETとが並置されたデュアルゲートCMOSFETを形成する。

【0169】ところで、デュアルゲートCMOSFETの形成において一般に問題となるのは、デュアルゲートCMOSFETのうちのpチャネルMOSFETのp+ゲート電極にドープされたボロンが半導体基板にしみ出すことである。

【0170】それに対して、第5の実施形態によると、第1～第4の実施形態に係る半導体装置の製造方法のいずれかを用いて、デュアルゲートCMOSFETのうちのpチャネルMOSFETのp+ゲート電極54aにドープされたボロン等の不純物がシリコン基板51にしみ出す事態を防止でき、それによって、シリコン基板51中の不純物濃度の変化に起因する素子特性の変動を抑制することができる。

【0171】また、第5の実施形態によると、第1～第4の実施形態に係る半導体装置の製造方法のいずれかを用いて、デュアルゲートCMOSFETのうちのnチャネルMOSFETのn+ゲート電極54bを形成するため、n+ゲート電極54bにドープされたリン等の不純物がシリコン基板51にしみ出す事態を防止でき、それによって、シリコン基板51中の不純物濃度の変化に起因する素子特性の変動を抑制することができる。

【0172】尚、第5の実施形態において、p+ゲート電極54aを構成するSiGe層に対するボロン等のドープを省略してもよい。具体的には、SiGe層のGe濃度を調整することによりバンドギャップを変化させることができるために、SiGe層に対してボロン等のドープを行なうことなく、p+ゲート電極54aのV<sub>t</sub>調整能力を向上させることができる。同様に、第5の実施形態において、n+ゲート電極54bを構成するSiGe層に対するリン等のドープを省略してもよい。すなわち

ち、第5の実施形態によると、 $p+$ ゲート電極54a又は $n+$ ゲート電極54bに不純物をドープする必要がなくなる。従って、 $p+$ ゲート電極54a又は $n+$ ゲート電極54bを構成するSiGe層におけるGe濃度を調整するだけで、不純物のシリコン基板51に対する突き抜け又はしみ出しを防止しつつ、デュアルゲートCMOSFETを簡単に形成することができる。

【0173】また、第5の実施形態において、第1～第4の実施形態に係る半導体装置の製造方法のいずれかを用いて、 $p+$ ゲート電極54a及び $n+$ ゲート電極54bを形成したが、これに代えて、第1～第4の実施形態に係る半導体装置の製造方法のいずれかを用いて、 $p+$ ゲート電極54a及び $n+$ ゲート電極54bのうちのいずれか一方のみを形成してもよい。

【0174】

【発明の効果】本発明によると、不純物の注入深さを十分に浅くすることができると共にチャネリングによる不純物の半導体基板に対する突き抜けを防止することができるため、ゲート電極にドープされた不純物が熱処理等により半導体基板にしみ出す事態を防止でき、それによって、半導体基板中の不純物濃度の変化に起因する素子特性の変動を抑制することができる。

【0175】また、本発明によると、ゲート電極を構成するシリコングルマニウム層中のゲルマニウム濃度を調整してバンドギャップを変化させることにより、ゲート電極のしきい値電圧調整能力を向上させることができ。このため、ゲート電極に不純物をドープする必要がなくなるので、ゲート電極から半導体基板への不純物のしみ出しに起因して素子特性が変動する事態を確実に回避することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】(a)～(d)は本発明の第1の実施形態に係る半導体装置の製造方法の各工程を示す断面図である。

【図2】本発明の第1の実施形態に係る半導体装置における、SiGe層の膜厚の変化に伴うゲート電極のフラットバンド電圧の変化の様子を示す図である。

【図3】(a)は本発明の第1の実施形態の変形例に係る半導体装置における、SiGe層中のGe濃度が深さ方向に連続的に変化する様子を示す図であり、(b)は本発明の第1の実施形態の変形例に係る半導体装置における、SiGe層中のGe濃度が深さ方向に不連続的に変化する様子を示す図である。

【図4】(a)～(d)は本発明の第2の実施形態に係る半導体装置の製造方法の各工程を示す断面図である。

【図5】(a)～(d)は本発明の第2の実施形態の変形例に係る半導体装置の製造方法の各工程を示す断面図である。

【図6】(a)～(c)は本発明の第3の実施形態に係る半導体装置の製造方法の各工程を示す断面図である。

【図7】(a)～(e)は本発明の第3の実施形態の変形例に係る半導体装置の製造方法の各工程を示す断面図である。

【図8】本発明の第3の実施形態の変形例に係る半導体装置の断面図である。

【図9】(a)～(e)は本発明の第4の実施形態に係る半導体装置の製造方法の各工程を示す断面図である。

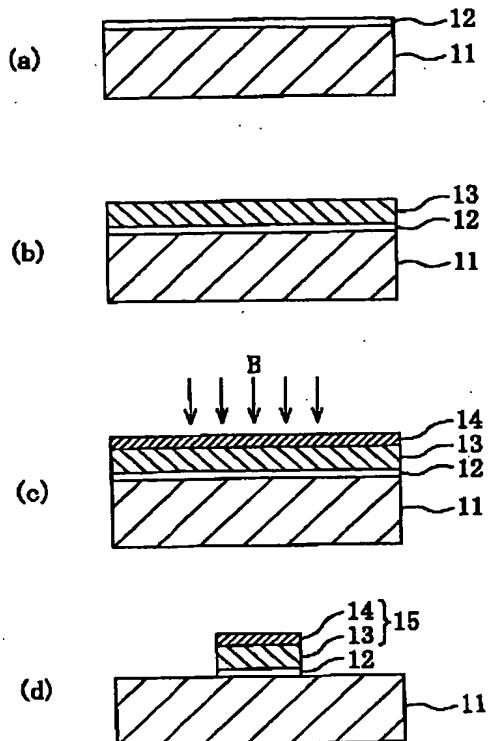
【図10】(a)、(b)は第5の実施形態に係る半導体装置の製造方法の各工程を示す断面図である。

【図11】従来の半導体装置の断面図である。

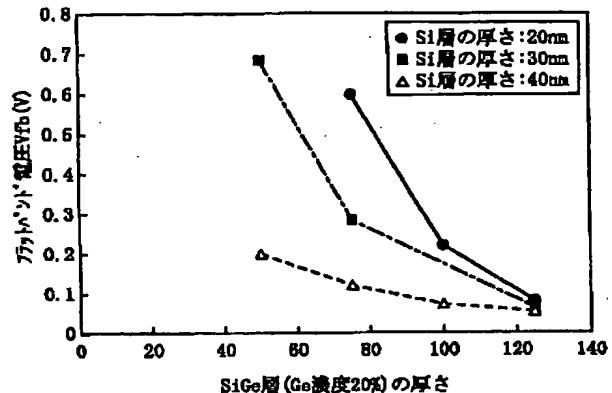
#### 【符号の説明】

- |     |            |
|-----|------------|
| 11  | シリコン基板     |
| 12  | ゲート絶縁膜     |
| 13  | SiGe層      |
| 14  | Si層        |
| 15  | ゲート電極      |
| 21  | シリコン基板     |
| 22  | ゲート絶縁膜     |
| 23  | 下部Si層      |
| 24  | SiGe層      |
| 25  | 上部Si層      |
| 26  | ゲート電極      |
| 31  | シリコン基板     |
| 32  | ゲート絶縁膜     |
| 33  | SiGe層      |
| 34  | ゲート電極      |
| 35  | 不純物拡散層     |
| 30  | シリコン酸化膜    |
| 37  | シリコン窒化膜    |
| 37A | サイドウォール    |
| 41  | シリコン基板     |
| 42  | ゲート絶縁膜     |
| 43  | SiGe層      |
| 44  | 金属層        |
| 45  | シリコン酸化膜    |
| 46  | シリコン窒化膜    |
| 47  | ポリメタルゲート電極 |
| 51  | シリコン基板     |
| 51a | n型半導体領域    |
| 51b | p型半導体領域    |
| 52  | 素子分離       |
| 53  | ゲート絶縁膜     |
| 54a | p+ゲート電極    |
| 54b | n+ゲート電極    |

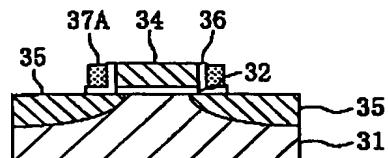
【図1】



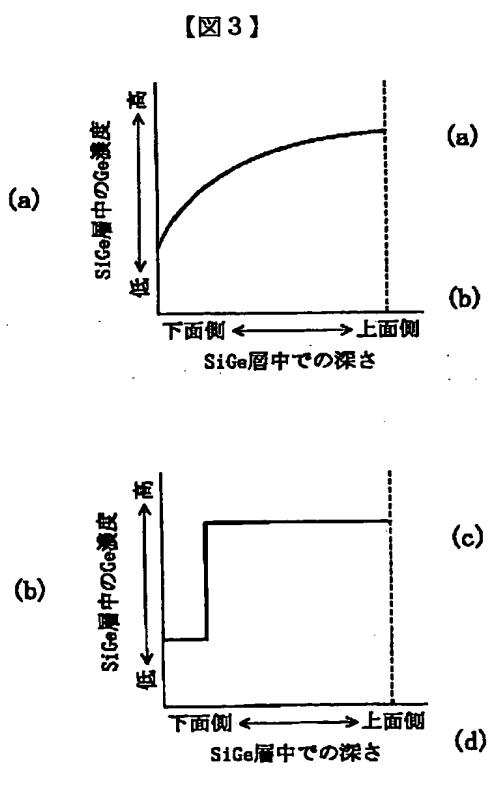
【図2】



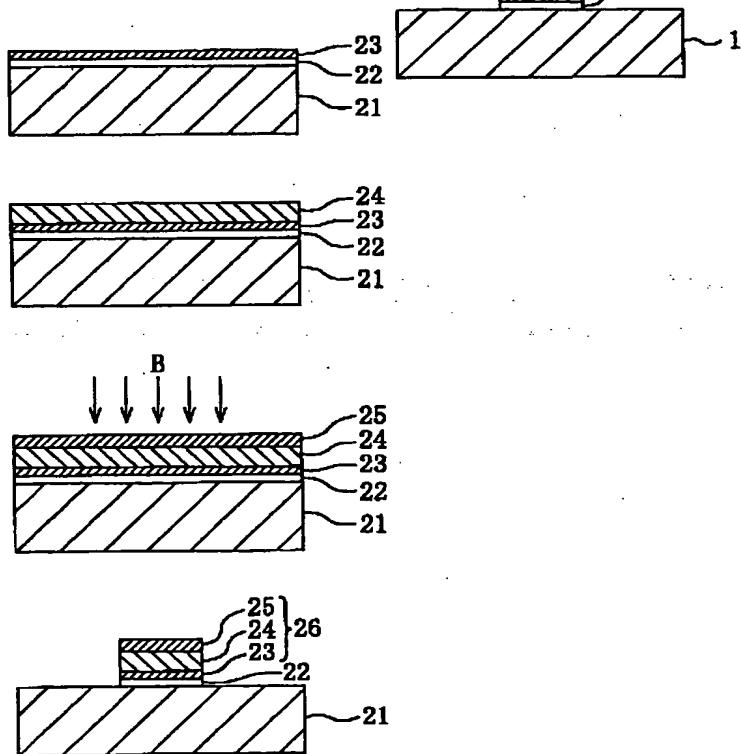
【図8】



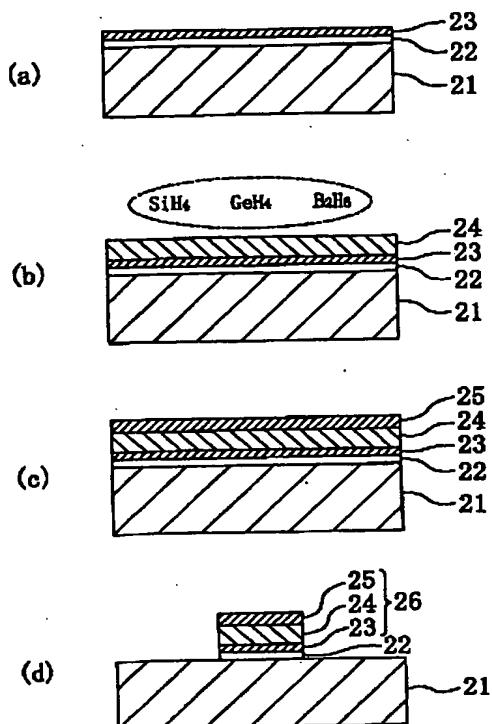
【図11】



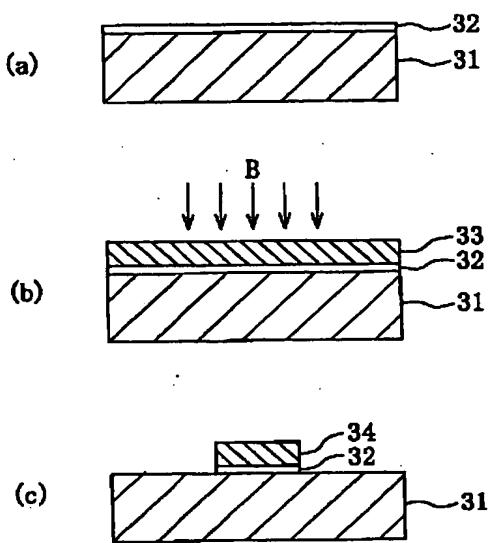
【図4】



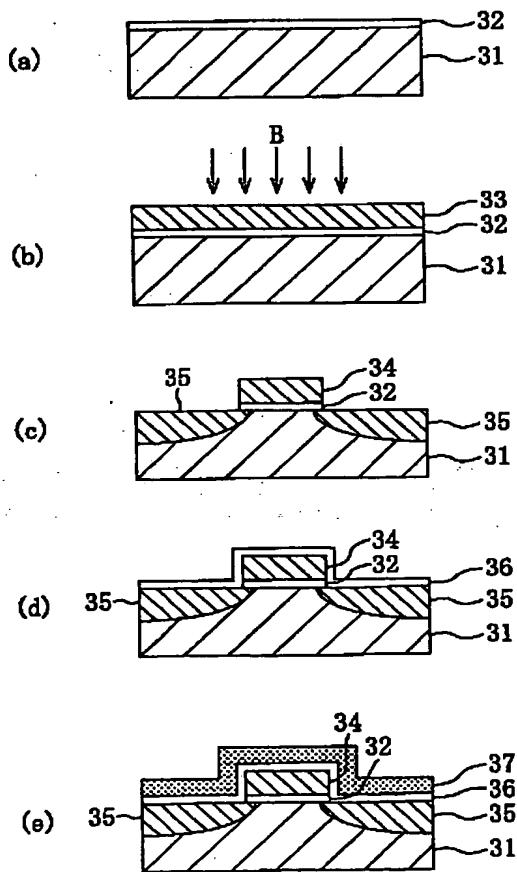
【図5】



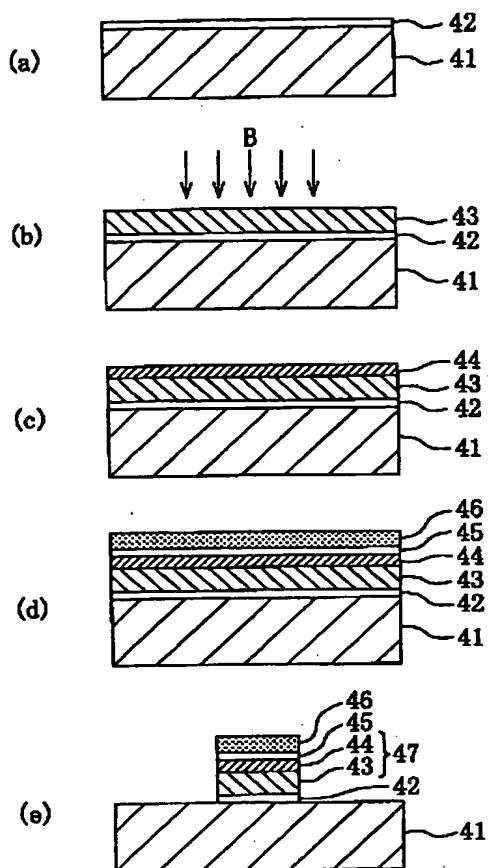
【図6】



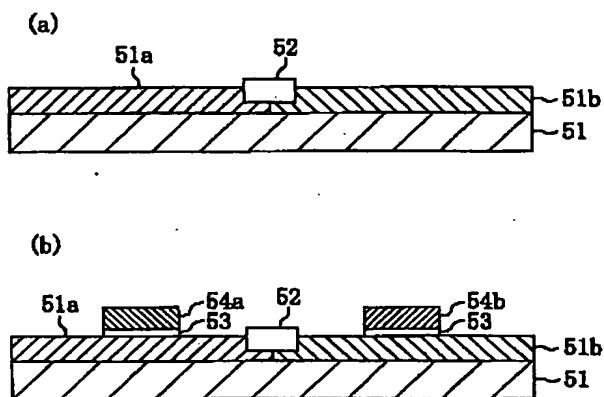
【図7】



【図9】



【図10】




---

フロントページの続き

Fターム(参考) 4M104 AA01 BB01 BB38 BB40 CC05  
 DD04 DD26 DD43 DD55 DD63  
 DD78 EE17 FF13 GG09 GG10  
 HH10  
 5F040 DA06 DA19 DB03 EC01 EC04  
 EC05 EC07 EC11 EC12 FA05  
 FA07 FA10 FA12 FC11  
 5F048 AA07 AA09 AC03 BB04 BB12  
 BB14 BC06 BE03 BG12 DA25  
 DA27 DA30